

тоннеля показали, что они различные. Это объясняется тем, что миделево сечение поезда занимает в тоннеле такое положение, когда в подвагонном пространстве на потоки воздуха действуют меньшие удельные силы сопротивления и они движутся несколько быстрее, чем у потолка тоннеля (рис.2).

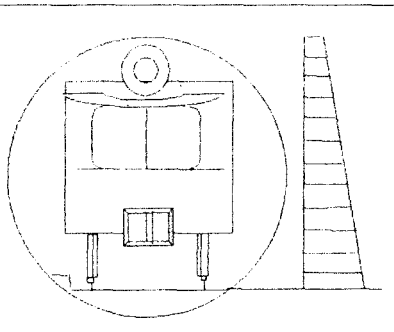


Рис.2 – Сечение тоннеля и эпюра ветровой нагрузки

1. Гос. рег. №1959810926 НИР "Работа систем тоннельной вентиляции Киевского метрополитена при аварийных режимах". – Донецк: НПО "Респиратор", 1998.

Получено 05.05.2000

УДК 614.84:664

В.П.ОЛЬШАНСКИЙ, д-р физ.-матем. наук

Харьковский институт пожарной безопасности МВД Украины

## **ДВУХСТОРОННИЕ ОЦЕНКИ ИЗБЫТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СТЕРЖНЕВОМ САМОНАГРЕВАНИИ СЫРЬЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ СИЛОСЕ**

Методом двойных тригонометрических рядов построены решения нестационарной задачи теплопроводности, позволяющие давать верхнюю и нижнюю оценки приросту температуры при стержневом самонагревании сырья в прямоугольном силосе очагом такой же формы поперечного сечения.

Оценки приросту температуры во времени при пластовом самонагревании сырья даны в работах [1,2] путем решения одномерной нестационарной задачи теплопроводности. Здесь строятся решения двумерной нестационарной задачи теплопроводности, которые являются нижней и верхней границами прироста температуры в случае стержневого самонагревания насыпи.

При описании нестационарного температурного процесса исходим из дифференциального уравнения

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{q_0}{\lambda} \{ [\omega(x - \xi + R_1) - \omega(x - \xi - R_1)] \times \\ \times [\omega(y - \eta + R_2) - \omega(y - \eta - R_2)] \} \omega(t). \quad (1)$$

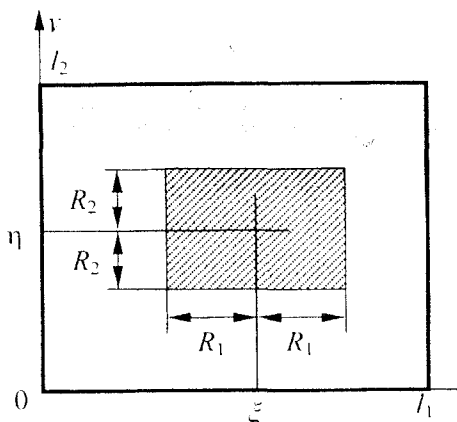
В нем  $a = \lambda/(\rho c)$ ;  $T = T(x, y, t)$  – избыточная температура сы-  
рья, характеризуемого коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ ;  $\rho$  и  $c$  –  
его плотность и удельная теплоемкость;  $q_0$  – объемная плотность  
теплоисточников в центре очага, имеющего координаты  $\xi$  и  $\eta$  в пря-  
моугольной системе  $хоу$ ;  $2R_1$   $2R_2$  – размеры очага;  $t$  – время;  $\omega(z)$  –  
функция Хевисайда.

Размеры поперечного сечения насыпи прямоугольной формы  
равны  $l_1$  и  $l_2$ , как показано на рисунке.

Поскольку речь идет  
об избыточной темпера-  
туре, примем ее равной  
нулю при  $t = 0$ , т.е. в  
качестве начального ус-  
ловия берем

$$T(x, y, 0) = 0. \quad (2)$$

1. Построим сначала  
формулу нижней границы  
прироста температуры. В  
качестве краевых усло-  
вий на краях  $x = 0; l_1$   
и  $y = 0; l_2$  возьмем идеа-



льный теплообмен с окружающей средой. Решение уравнения (1), рав-  
ное нулю на контуре сечения, ищем в виде

$$T_H(x, y, t) = T(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} b_{mn}(t) \sin(\alpha_m x) \sin(\beta_n y), \quad (3)$$

где  $\alpha_m = m\pi \cdot l_1^{-1}$ ;  $\beta_n = n\pi \cdot l_2^{-1}$ ;  $b_{mn}$  – неизвестные функции вре-  
мени.

Подставив выражение (3) в (1), с учетом ортогональности синусов  
приходим к дифференциальным уравнениям первого порядка

$$\dot{b}_{mn} + a(\alpha_m^2 + \beta_n^2)b_{mn} = \frac{4}{\rho c} Q_{mn} \sin(\alpha_m \xi) \sin(\beta_n \eta).$$

Здесь

$$Q_{mn} = \frac{4q_0}{l_1 l_2} \frac{\sin(\alpha_m R_1) \sin(\beta_n R_2)}{\alpha_m \beta_n}. \quad (4)$$

Решениями этих уравнений являются функции

$$b_{mn}(t) = \frac{4Q_{mn}}{\lambda(\alpha_m^2 + \beta_n^2)} \left( 1 - e^{-a(\alpha_m^2 + \beta_n^2)t} \right) \sin(\alpha_m \xi) \cdot \sin(\beta_n \eta).$$

Они обеспечивают выполнение и начального условия (2).

Подставив коэффициенты  $b_{mn}(t)$  в разложение (3), приходим к формуле нижней границы избыточной температуры

$$T_H(x, y, t) = \frac{4}{\lambda} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Q_{mn}}{\alpha_m^2 + \beta_n^2} \left( 1 - e^{-a(\alpha_m^2 + \beta_n^2)t} \right) \times \\ \times \sin(\alpha_m \xi) \cdot \sin(\beta_n \eta) \cdot \sin(\alpha_m x) \cdot \sin(\beta_n y). \quad (5)$$

2. Чтобы получить формулу верхней границы прироста температуры, рассмотрим процесс самонагрева в предположении, что все четыре грани слюса термоизолированы. В качестве краевых условий берем

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ при } x = 0; l_1 \text{ и } \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \text{ при } y = 0; l_2. \quad (6)$$

Решение уравнения (1) ищем в форме двойного ряда:

$$T_b(x, y, t) = T(x, y, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} c_{mn}(t) \cos(\alpha_m x) \cos(\beta_n y). \quad (7)$$

Независимо от  $c_{mn}(t)$  он удовлетворяет граничным условиям (6).

Подставив разложение (7) в уравнение (1), приходим к уравнениям для определения  $c_{mn}(t)$ . Решив их, из выражений (7) получаем формулу верхней границы избыточной температуры:

$$T_b(x, y, t) = \frac{16q_0}{\lambda l_1 l_2} \left[ \frac{1}{4} R_1 R_2 a t + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f_{mn}}{\alpha_m^2 + \beta_n^2} \times \right. \\ \left. \times \left( 1 - e^{-a(\alpha_m^2 + \beta_n^2)t} \right) \cdot \cos(\alpha_m \xi) \cos(\beta_n \eta) \cos(\alpha_m x) \cos(\beta_n y) \right]. \quad (8)$$

Здесь

$$f_{mn} = \begin{cases} 0 & \text{при } m = n = 0 \\ 0,5 R_1 \sin(\beta_n R_2) & \text{при } m = 0, n > 0 \\ \alpha_m^{-1} \beta_n^{-1} \sin(\alpha_m R_1) \sin(\beta_n R_2) & \text{при } m > 0, n > 0 \\ 0,5 R_2 \sin(\alpha_m R_1) & \text{при } m > 0, n = 0. \end{cases}$$

Поскольку ряды (5) и (8) сходятся медленно, их частичные суммы приходится находить численно на компьютере.

Вычисленные безразмерные значения границ  $\bar{T}_H(x, y, t) = \rho c T_H(x, y, t)(q_0 t)^{-1}$  и  $\bar{T}_b(x, y, t) = \rho c T_b(x, y, t)(q_0 t)^{-1}$  в центре очага ( $x = \xi, y = \eta$ ) помещены в таблицу. Расчет проведен для насыпи

Значения  $\bar{T}_H(\xi, \eta, t)$  (числители) и  $\bar{T}_b(\xi, \eta, t)$  (знаменатели)

$t$ , суток	$\xi = R_1$	$\xi = 2R_1$	$\xi = 3R_1$	$\xi = 4R_1$	$\xi = 5R_1$
$\eta = R_2$					
10	0,984	0,987	0,987	0,987	0,987
	0,995	0,992	0,992	0,992	0,992
100	0,396	0,458	0,459	0,459	0,459
	0,742	0,635	0,632	0,632	0,632
400	0,115	0,147	0,153	0,153	0,153
	0,456	0,355	0,329	0,325	0,324
$\eta = 3R_2$					
10	0,987	0,989	0,989	0,989	0,989
	0,992	0,989	0,989	0,989	0,989
100	0,459	0,544	0,546	0,546	0,546
	0,632	0,548	0,546	0,546	0,546
400	0,153	0,218	0,233	0,235	0,236
	0,329	0,261	0,245	0,242	0,242
$\eta = 5R_2$					
10	0,987	0,989	0,989	0,989	0,989
	0,992	0,989	0,989	0,989	0,989
100	0,459	0,544	0,546	0,546	0,546
	0,632	0,548	0,546	0,546	0,546
400	0,153	0,220	0,236	0,238	0,239
	0,324	0,257	0,242	0,239	0,239

зерна ( $\lambda = 0,06$  Вт/(мК);  $\rho c = 14,6 \cdot 10^5$  Дж/(м<sup>3</sup>К)) при  $l_1 = l_2 = 6$  м;  $R_1 = 0,1l_1$ ;  $R_2 = 0,1l_2$ . Менялись параметры  $\xi$ ,  $\eta$  и  $t$ . В частичных суммах брали по 200 членов. Найденные значения  $\bar{T}_H(\xi, \eta, t)$  записаны в числителе, а  $\bar{T}_b(\xi, \eta, t)$  – в знаменателе. Анализ показывает, что в центральной части насыпи есть область, где на длительном интервале времени  $\bar{T}_H(\xi, \eta, t)$  и  $\bar{T}_b(\xi, \eta, t)$  близки между собой, т.е. избыточную температуру в очаге можно находить без учета реальных условий теплообмена по любой из полученных выше формул.

Решения (5), (8) позволяют также изучить влияние расположения очага, его ориентации и формы на величину избыточной температуры в сырье. Расчетами установлено, что из семейства стержневых очагов прямоугольной формы, имеющих одинаковую мощность и расположенных в центральной части насыпи, наиболее быстрый прирост температуры дает термоисточник с квадратным поперечным сечением.

1. Ольшанский В.П. Двухсторонние оценки прироста температуры при пластовом самонагревании растительного сырья // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научных трудов. Вып. 6. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С. 109-115.

2. Ольшанский В.П., Гармаш Л.И., Мамон В.П., Белан С.В. К расчету температуры самонагревания сырья в силосе ступенчатым пластовым очагом // Вестн. Харьковск. гос. политехн. ун-та. Вып. 58. – Харьков: ХГПУ, 1999. – С. 54-57.

Получено 10.05.2000

УДК 614.641

Н.Я.ОТКИДАЧ, В.М.ЖАРТОВСКИЙ, д-р техн. наук

Украинский научно-исследовательский институт  
пожарной безопасности МВД Украины, г.Киев

А.М.ТИЩЕНКО

Черкасский институт пожарной безопасности МВД Украины

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТА ИЗ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАННЫХ УСТАНОВОК В КОМБИНАЦИИ С ОГНЕТУШАЩИМИ ПОРОШКАМИ ДЛЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ**

Рассматривается применение азота из воздухоразделительных мембранных установок в комбинации с огнетушащими порошками для противопожарной защиты.

Для существующей в настоящее время автоматической противопожарной защиты объектов, особенно в газовой промышленности, используются установки с озоноразрушающими хладагентами. Возникающая отсюда экологическая, а вместе с ней и научно-техническая